

日本国特許庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

JC916 U.S. PTC
09/669384
09/26/00


別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
in this Office.

願年月日

Date of Application:

2000年 7月 7日

願番号

Application Number:

特願2000-206818

願人

Applicant(s):

工業技術院長
スタンレー電気株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2000年 8月 4日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3062102

【書類名】 特許願
 【整理番号】 P23515
 【提出日】 平成12年 7月 7日
 【あて先】 特許庁長官殿
 【国際特許分類】 G06F 9/00
 【発明の名称】 物体運動追跡手法及び記録媒体
 【請求項の数】 8
 【発明者】
 【住所又は居所】 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術
 総合研究所内
 【氏名】 角 保志
 【発明者】
 【住所又は居所】 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術
 総合研究所内
 【氏名】 富田 文明
 【発明者】
 【住所又は居所】 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 スタンレー電気
 株式会社内
 【氏名】 石山 豊
 【特許出願人】
 【持分】 067/100
 【識別番号】 000001144
 【住所又は居所】 東京都千代田区霞が関1丁目3番1号
 【氏名又は名称】 工業技術院長 梶村 皓二
 【特許出願人】
 【持分】 033/100
 【識別番号】 000002303
 【住所又は居所】 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号
 【氏名又は名称】 スタンレー電気株式会社

【代表者】 北野 ▲隆▼典

【指定代理人】

【識別番号】 220000356

【住所又は居所】 茨城県つくば市梅園1丁目1番4

【氏名又は名称】 工業技術院 電子技術総合研究所長 児玉 皓雄

【代理関係の特記事項】 特許出願人 工業技術院長の指定代理人

【代理人】

【識別番号】 100066061

【住所又は居所】 東京都港区新橋1丁目18番16号 日本生命新橋ビル
3階

【弁理士】

【氏名又は名称】 丹羽 宏之

【電話番号】 03(3503)2821

【代理関係の特記事項】 特許出願人 スタンレー電気株式会社の代理人

【代理人】

【識別番号】 100094754

【住所又は居所】 東京都港区新橋1丁目18番16号 日本生命新橋ビル
3階

【弁理士】

【氏名又は名称】 野口 忠夫

【電話番号】 03(3503)2821

【代理関係の特記事項】 特許出願人 スタンレー電気株式会社の代理人

【復代理人】

【識別番号】 100066061

【住所又は居所】 東京都港区新橋1丁目18番16号 日本生命新橋ビル
3階

【弁理士】

【氏名又は名称】 丹羽 宏之

【電話番号】 03(3503)2821

【代理関係の特記事項】 特許出願人 工業技術院長の復代理人

【復代理人】

【識別番号】 100094754

【住所又は居所】 東京都港区新橋1丁目18番16号 日本生命新橋ビル
3階

【弁理士】

【氏名又は名称】 野口 忠夫

【電話番号】 03(3503)2821

【代理関係の特記事項】 特許出願人 工業技術院長の復代理人

【手数料の表示】

【納付方法】 予納

【予納台帳番号】 011707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9004629

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 物体運動追跡手法及び記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項1】 時系列的に得られた物体のステレオ画像から該物体の3次元運動を追跡する物体運動追跡手法であって、前記物体のステレオ画像における該物体の輪郭線に対応した追跡点を選択する選択ステップと、各追跡点に対応した前記物体の輪郭線上の対応点を前記ステレオ画像から抽出する抽出ステップと、抽出された対応点の3次元座標を計測する計測ステップと、前記追跡点と対応点のそれぞれの3次元座標から前記物体の位置姿勢を検出する検出ステップとを具備し、前記選択ステップから検出ステップまでの各ステップの処理を前記時系列的に得られたステレオ画像の各フレームに対して連続的に繰り返すことにより前記物体の3次元運動を追跡するようにしたことを特徴とする物体運動追跡手法。

【請求項2】 選択ステップでは、物体の3次元幾何モデルを用いて追跡点を選択するようにしたことを特徴とする請求項1記載の物体運動追跡手法。

【請求項3】 計測ステップでは、ステレオ対応を用いたステレオ視によって3次元座標を計測するようにしたことを特徴とする請求項1または2記載の物体運動追跡手法。

【請求項4】 計測ステップでは、単眼視によって3次元座標を計測するようにしたことを特徴とする請求項1または2記載の物体運動追跡手法。

【請求項5】 時系列的に得られた物体のステレオ画像から該物体の3次元運動を追跡するための物体運動追跡プログラムを記録した記録媒体であって、前記物体のステレオ画像における該物体の輪郭線に対応した追跡点を選択する選択ステップと、各追跡点に対応した前記物体の輪郭線上の対応点を前記ステレオ画像から抽出する抽出ステップと、抽出された対応点の3次元座標を計測する計測ステップと、前記追跡点と対応点のそれぞれの3次元座標から前記物体の位置姿勢を検出する検出ステップとを具備し、前記選択ステップから検出ステップまでの各ステップの処理を前記時系列的に得られたステレオ画像の各フレームに対して連続的に繰り返すことにより前記物体の3次元運動を追跡することを実行するためのプログラムを記録したことを特徴とする記録媒体。

【請求項6】 選択ステップで物体の3次元幾何モデルを用いて追跡点を選択することを実行するためのプログラムを記録したことを特徴とする請求項5記載の記録媒体。

【請求項7】 計測ステップでステレオ対応を用いたステレオ観によって3次元座標を計測することを実行するためのプログラムを記録したことを特徴とする請求項5または6記載の記録媒体。

【請求項8】 計測ステップで単眼観によって3次元座標を計測することを実行するためのプログラムを記録したことを特徴とする請求項5または6記載の記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、時系列的に得られた物体のステレオ画像からその物体の3次元運動を追跡する物体運動追跡手法及びその実行プログラムを記録した記録媒体に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

一般に、曲面を持つ物体の3次元剛体運動を追跡する場合、撮像手段である視覚センサから連続的に得られる時系列画像を用いる。この追跡対象物体の形状が既知であれば、該物体の3次元幾何モデルを用いることにより、対応探索における追跡点の予測が可能となるので、曲面物体の位置姿勢の高精度な追跡が可能であり、部分的なオクルージョンにも比較的強いという特長がある。

【0003】

また、物体モデルを利用した物体の3次元剛体運動追跡手法としては、次のような手法が知られている。

【0004】

- (1) センサとして単眼のCCDカメラを用いる手法
- (2) センサとして複数のCCDカメラからなるステレオカメラシステムを用いる手法

(3) センサとしてレンジファインダを用いる手法

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上記のような曲面物体の輪郭線（シルエット）は、該物体の位置姿勢によって連続的に形状が変化する見かけの輪郭線であり、その位置を正確に予測・計測することは困難である。このため、上記の従来手法（1），（2）で追跡対象とされてきた物体は、多面体や円柱など、観測方向によって不变な固定エッジ構造を持つものに限られ、滑らかな曲面によって構成される自由曲面体の追跡は行われてきていません。また、従来手法（3）では、面の3次元情報を利用することができるので、自由曲面体を含む任意形状物体の追跡が可能であるが、高速のレーザーレンジファインダなどの特殊なセンサを必要とする。

【0006】

本発明は、上記のような問題点に鑑みてなされたもので、撮像カメラの組からなるステレオカメラシステムをセンサとして用い、物体モデルを利用して高速かつ正確に曲面物体の3次元運動を追跡することが可能な物体運動追跡手法を提供することを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る物体運動追跡手法は、時系列的に得られた物体のステレオ画像から該物体の3次元運動を追跡する物体運動追跡手法であって、前記物体のステレオ画像における該物体の輪郭線に対応した追跡点を選択する選択ステップと、各追跡点に対応した前記物体の輪郭線上の対応点を前記ステレオ画像から抽出する抽出ステップと、抽出された対応点の3次元座標を計測する計測ステップと、前記追跡点と対応点のそれぞれの3次元座標から前記物体の位置姿勢を検出する検出ステップとを具備し、前記選択ステップから検出ステップまでの各ステップの処理を前記時系列的に得られたステレオ画像の各フレームに対して連続的に繰り返すことにより前記物体の3次元運動を追跡するようにしたものである。

【0008】

また、本発明に係る記録媒体は、時系列的に得られた物体のステレオ画像から

該物体の3次元運動を追跡するための物体運動追跡プログラムを記録した記録媒体であって、前記物体のステレオ画像における該物体の輪郭線に対応した追跡点を選択する選択ステップと、各追跡点に対応した前記物体の輪郭線上の対応点を前記ステレオ画像から抽出する抽出ステップと、抽出された対応点の3次元座標を計測する計測ステップと、前記追跡点と対応点のそれぞれの3次元座標から前記物体の位置姿勢を検出する検出ステップとを具備し、前記選択ステップから検出ステップまでの各ステップの処理を前記時系列的に得られたステレオ画像の各フレームに対して連続的に繰り返すことにより前記物体の3次元運動を追跡することを実行するためのプログラムを記録したものである。

【0009】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の物体運動追跡手法について、実施例を基に詳細に説明する。

【0010】

図1は、本発明による3次元物体モデル生成手法を実施するためのシステム構成を示すブロック図である。同図中、1はシステム全体を制御するコンピュータで、データバス2を通じて以下の各部と接続されている。

【0011】

3a, 3b, 3cはテレビカメラで、そのアナログ出力はA/D変換器4a, 4b, 4cによりデジタル信号に変換されてデータバス2に送出される。

【0012】

5はテレビカメラ3a, 3b, 3cにより撮像した物体の画像データを格納する画像メモリ、6は画像を表示するディスプレイ装置、7はプリンタ、8はキーボードターミナルである。

【0013】

9はハードディスクで、本発明に係る物体運動追跡プログラムのシステムソフトウェア及び物体の3次元幾何モデルを保存するとともに、ステレオビジョンによって復元される3次元情報及び運動追跡処理によって得られる物体の運動パラメータ情報を連続的に記録する。

【0014】

10は上記の物体運動追跡プログラムを記録したCD-ROMを読み取るためのCD-ROM装置で、上記システムソフトウェアはこのCD-ROMからハードディスク9にインストールされる。

【0015】

そして、上記のシステムは、データバス2を介して外部のホストコンピュータ等と接続されている。

【0016】

図2は、上記構成のシステムにおける基本的な処理動作を示すフローチャートであり、時系列的に得られる曲面物体のステレオ画像から該物体の3次元剛体運動を追跡するための処理の流れを示している。

【0017】

この処理動作は、図1のコンピュータ1により予め記憶されたプログラムにより実行されるものであり、3次元剛体運動をする自由曲面を持つ物体のステレオ画像をCCD等を用いた撮像カメラからフレーム入力する入力ステップ(S1)と、その物体のステレオ画像における該物体の輪郭線に対応した追跡点を選択する選択ステップ(S2)と、各追跡点に対応した上記物体の輪郭線上の対応点を上記ステレオ画像から抽出(検索)する抽出ステップ(S3)と、抽出された対応点の3次元座標を計測(復元)する計測ステップ(S4)と、上記追跡点と対応点のそれぞれの3次元座標から前記物体の位置姿勢を検出する検出ステップ(S5)と、その位置姿勢の誤差が十分小さいかを判別する判別ステップ(S6)とを具備し、上記選択ステップ(S2)から検出ステップ(S5)までの各ステップ(S2～S5)の処理を上記時系列的に得られたステレオ画像の各フレームに対して連続的に繰り返すことにより上記物体の3次元運動を追跡するようにしたものである。

【0018】

まず、ステレオ画像を入力し(S1)、そのステレオ画像において観測される曲面物体の輪郭線(シルエット)に対応する追跡点を、該物体の現在位置に関する情報に基づき、3次元幾何モデルを用いて選択する(S2)。そして、各追跡点に対応する該物体の輪郭線上の対応点を上記ステレオ画像から抽出し(S3)

、その3次元座標を計測する（S4）。

【0019】

次に、各追跡点と計測された各対応点の3次元座標の組から、該物体の位置姿勢と誤差を算出する（S5）。そして、誤差が十分小さいかどうかの判別を行い（S6）、十分小さくない場合は、検出された位置姿勢を該物体の新たな現在位置とし、上記（S2）からの処理を繰り返す。誤差が十分小さい場合は、検出された位置姿勢を該物体の新たな現在位置とし、（S1）からの処理を繰り返す。

【0020】

次に、図3～図10を参照して上記の処理を詳細に説明する。

【0021】

図3は、入力された時系列ステレオ画像の初期（第0）フレーム（frame 0）の例を示している。物体の幾何モデルを用いて該物体の運動を追跡するには、まず追跡のための初期位置として、上記初期フレームにおける対象物体の3次元位置と姿勢を正確に求める必要がある。なお、ここでは物体の初期位置推定の手法は必要ないので省略する。

【0022】

図4は、自由曲面物体（ここではおもちゃのバナナ）の初期位置推定結果の例を示す図であり、セグメントベーストステレオ法によって復元したシーン中の3次元輪郭線とともに示している。

【0023】

次に、物体モデルから曲面物体の輪郭線（シルエット）に対応する追跡点を選択する手法について述べる。

【0024】

図5は、物体モデルのネット構造の例を示す図である。ここでは、自由曲面体を互いの空間的な隣接関係（4連結）を保持している有限数の代表点（モデル点）をノードとするネット構造としてモデル化している。

【0025】

自由曲面体の輪郭線（シルエット）は、観測方向によって連続的に変形する見かけの輪郭線である。自由曲面体の運動追跡には、時系列入力画像のフレーム間

における物体の剛体運動パラメータと、刻々と変形するこの遮蔽輪郭線の形状を同時に推定する必要がある。

【0026】

そして、次のようにして、あるフレームにおいて仮定された物体の位置姿勢から、物体モデルと既知の観測位置を用いて遮蔽輪郭線の概形を高速に推定する。この仮定された対象物体の位置において、モデル点Pに対応する物体表面上の点が観測位置Oから観測可能であるかどうかは、次式によって判別することができる。

【0027】

【数1】

$$vis(P) = \begin{cases} 1 & \text{if } (P-O) \cdot N \leq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、Nは点Pにおける表面法線ベクトルである。したがって、画像上で観測される曲面の遮蔽輪郭線は、観測可能なモデル点からなる領域の境界、すなわち、次式であるようなPに相当すると見なすことができる。

【0028】

【数2】

$$\left\{ \begin{array}{l} vis(P) = 1, \\ \sum_{i=1}^4 vis(P_{next(i)}) \neq 4 \end{array} \right. \quad (2)$$

ここで、 $P_{next(i)}$ はPに隣接するモデル点を表す。

【0029】

このようなモデル点の組 $\{P_i\}$ は、モデルのネット構造に対する次の(a), (b) の処理によって取り出すことができる。

【0030】

(a) (1)式を満たすノードにラベル付けする。

【0031】

(b) (2)式を満たすノードを探索し、見つかったノードを起点として (2) 式を満たすノードをトレースする。

【0032】

これらの処理は、単純なラスタスキヤンによって高速に実行することが可能である。なお、ここでは計算コストの高い自己隠れのチェックは行わない。

【0033】

上記の処理によって得られる多数のモデル点を追跡点とし、次フレーム画像における対応点探索によりフレーム間の運動を推定する。原理的には、同一直線上にない3点があれば3次元運動推定は可能であるが、ここではオクルージョンに対する頑健性を得るために、処理時間の許す限りできるだけ多くの追跡点を用いている。

【0034】

次に、対応点探索の処理手順を説明する。物体の運動追跡は、ある時刻 t における追跡点 P の、次の時刻 $t + 1$ におけるフレーム (Frame ($t + 1$)) での対応点を求める処理の繰り返しであり、次の (c), (d) の処理によって行うことができる。

【0035】

(c) 対応エッジ点探索

基準画像 Frame_L に P を投影した位置 P_L から、図 6 に示すようにモデルのエッジ方向と垂直方向に画素をトレースし、画素微分値の極大点 D_L を探索する。

【0036】

(d) ステレオ対応点探索

D_L に対する対応画像 Frame_R でのエピポーラ線を求め、図 7 に示すように、そのエピポーラ線上で追跡点 P_R に最も近い点 P'_R から、図 6 と同様、エピポーラ線方向に D_R を探索する。

【0037】

これらの処理は、基本的にはトレースによって得られる単純な1次元データに対する微分処理であり、計算コストは小さい。

【0038】

次に、ステレオ法による対応点の3次元座標復元について説明する。上記の処理によって探索された $\{D_L, D_R\}$ の座標値を、それぞれ近傍画素値の勾配から sub pixel 化し、三角測量の原理に基づいて3次元座標 D を算出する。

【0039】

一般に、追跡点のエッジ方向がエピポーラ線と平行もしくは平行に近い場合は、2眼ステレオによる計測では誤差が大きくなる。これを解決する最も簡単な方法は、左右のステレオカメラの基線の上方あるいは下方にもう一台のカメラ Frame_V を追加した3眼ステレオを用いることである。追跡点のそれについて、3眼の組合せ $\{L, R\}$, $\{L, V\}$, $\{R, V\}$ からエッジ方向とエピポーラ線との角度が大きくなるものを選び、上記の探索処理を実行する。そして、得られた対応点 $\{D_i\}$ についてモデル点からの距離 $|P_i - D_i|$ を調べることによって誤対応を除去する。

【0040】

次に、単眼による対応点の3次元座標復元について説明する。オクルージョンやノイズ等の影響により、対応点探索は常にうまくいくとは限らない。1眼だけしか対応点が見つからないか、あるいはエピポーラ線に平行に近い2眼の組合せでしか対応点が見つからない場合は、図8に示すように、カメラのレンズ中心CとDを結ぶ投影直線にPから下ろした垂線の足をDとし、得られた対応点 $\{D_i\}$ についてモデル点からの距離 $|P_i - D_i|$ を調べることによって誤対応を除去する。

【0041】

次に、追跡点と計測された各対応点の3次元座標の組から、該物体の位置姿勢と誤差を算出する手法について説明する。Frame(t) から Frame(t+1) への物体の運動パラメータは、 3×3 回転行列 R と並進ベクトル T で表すことができ、 $\{P_i\}$ を $\{D_i\}$ に移動させた際の誤差を最小にする次式の最小自乗法で求められる。

【0042】

【数3】

$$\min_{R, T} \sum_{i=1}^n |RP_i + T - D_i|^2 \quad (3)$$

このとき、算出されたR, Tによってモデルの位置姿勢を更新する。誤差が十分小さくない場合は、遮蔽輪郭線の推定からの処理を繰り返し、いわゆる“山登り法”によって収束させる。

【0043】

良く知られているように、ステレオ視による曲面の遮蔽輪郭線の計測には、図9に示すような誤差が含まれる。モデルから推定される遮蔽輪郭線と、ステレオ視による計測値との誤差eの大きさは、カメラの基線長lと対象までの距離d、対象曲面の曲率1/rについて、 $l \ll d$, $r \ll d$ ならば、 $e \approx r l / 2d$ とみなすことができる。多くの場合eは十分小さいと考えられるので、ここではその計測誤差については考慮しないこととする。

【0044】

次に、図3に示す自由曲面体モデル(直径約3cm、ノード間隔約3mm)について、回転テーブルを用いて運動追跡実験を行った追跡結果の例を図10に示す。各フレームにおいて算出されたR, Tによってモデルを移動させ、モデルのノードを入力画像上に投影した。部分的なオクルージョン環境下でも追跡が可能であることがわかる。

【0045】

このように、本実施例では、CCDカメラの組からなるステレオカメラシステムをセンサとして用い、物体モデルを利用した曲面物体の高速かつ正確な3次元剛体運動運動追跡手法を実現することが可能となる。

【0046】

なお、上述の曲面物体の3次元剛体運動追跡を実行するためのプログラムは、任意の記録媒体に記録して、コンピュータで読み取り可能な形態としておくことができる。

【0047】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、撮像カメラの組からなるステレオカメラシステムをセンサとして用い、物体モデルを利用して高速かつ正確に曲面物体の3次元運動を追跡することができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】 本発明を実施するためのシステム構成を示すブロック図
- 【図2】 本発明の基本的な処理の流れを示すフローチャート
- 【図3】 時系列ステレオ画像の初期フレームの例を示す図
- 【図4】 曲面物体の初期位置推定結果の例を示す図
- 【図5】 曲面体モデルのネット構造の例を示す図
- 【図6】 対応エッジ点の探索方法を示す図
- 【図7】 ステレオ対応点探索方法を示す図
- 【図8】 単眼観による対応点の3次元推定方法を示す図
- 【図9】 ステレオ観による曲面の計測誤差を示す図
- 【図10】 自由曲面体追跡の結果の例を示す図

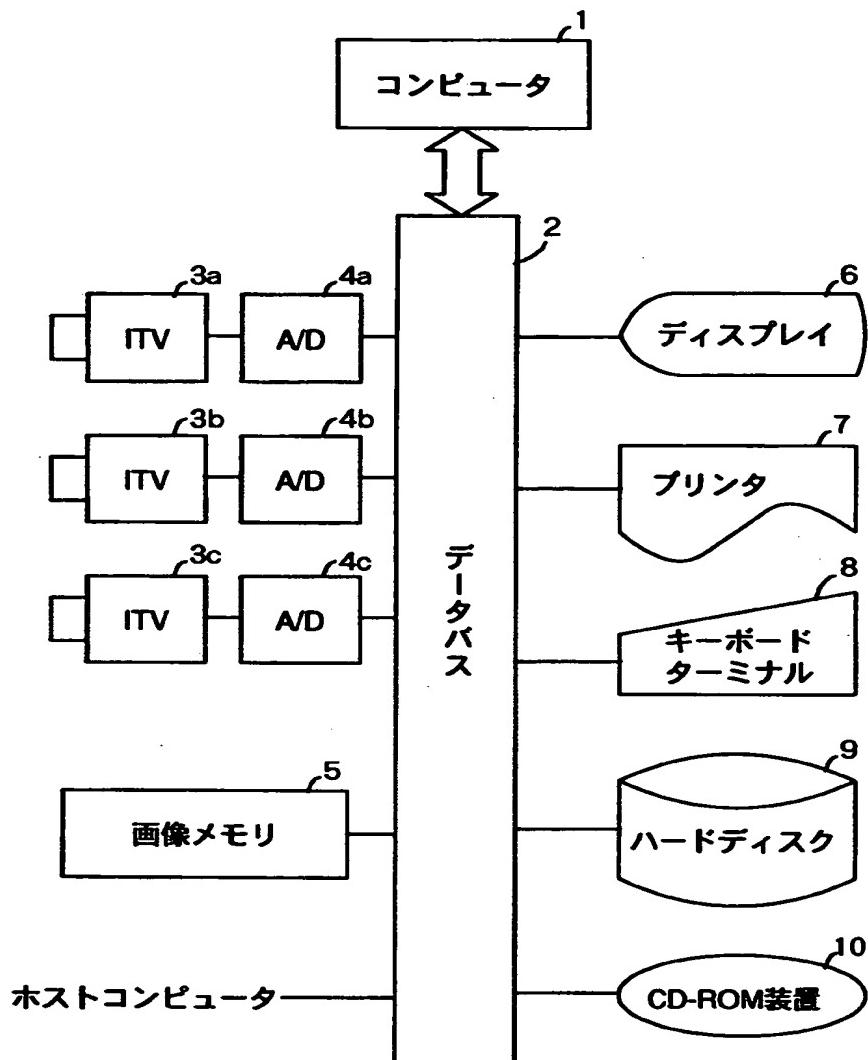
【符号の説明】

- 1 コンピュータ
- 3 a テレビカメラ
- 3 b テレビカメラ
- 3 c テレビカメラ
- 5 画像メモリ
- 9 ハードディスク
- 10 CD-ROM装置

【書類名】 図面

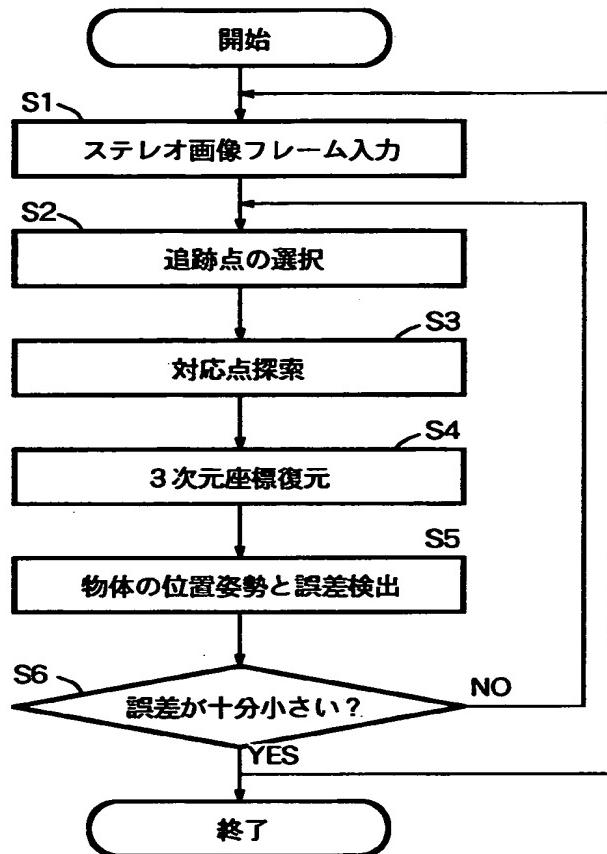
【図1】

本発明を実施するためのシステム構成



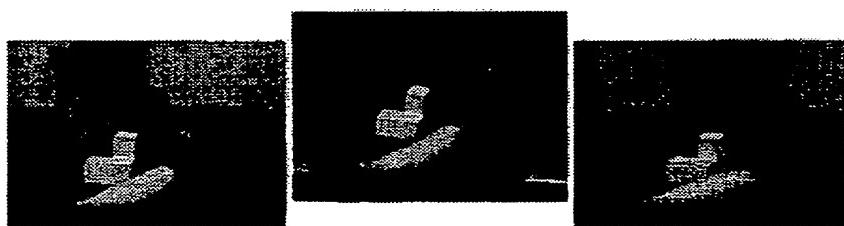
【図2】

本発明の基本的な処理の流れ



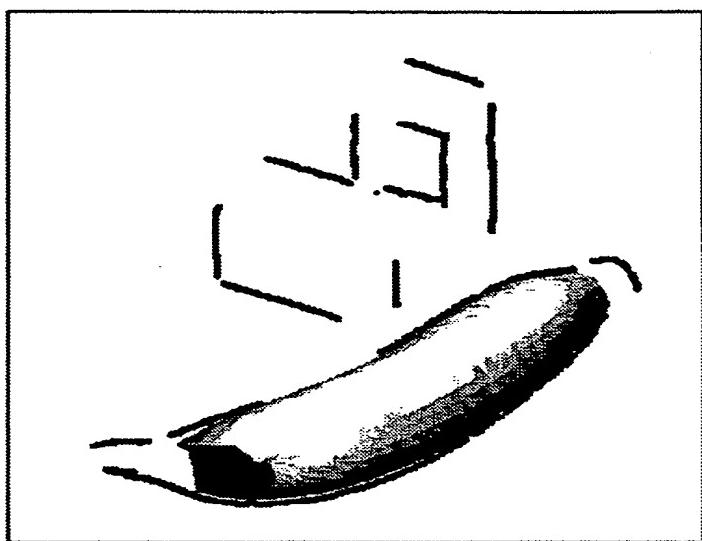
【図3】

時系列ステレオ画像の例



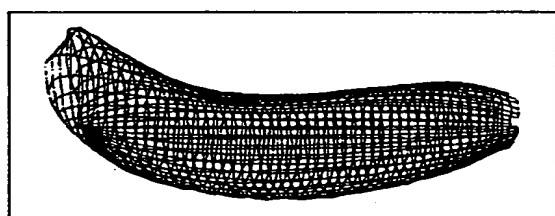
【図4】

曲面物体の初期位置推定結果の例



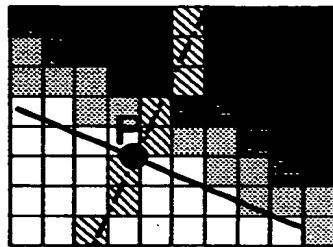
【図5】

曲面体モデルのネット構造の例



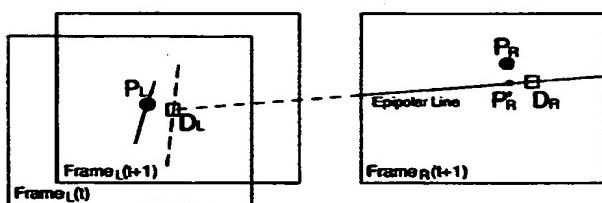
【図6】

対応エッジ点の探索方法



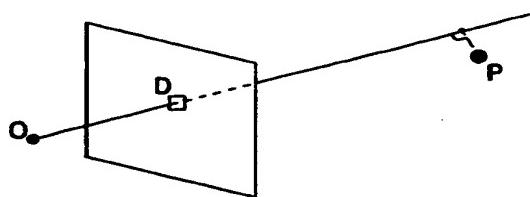
【図7】

ステレオ対応の点探索方法



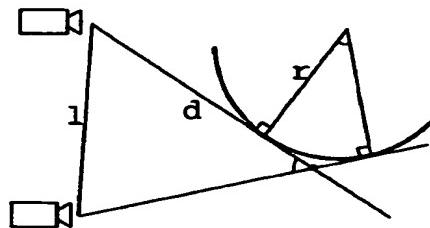
【図8】

単眼視による対応点の3次元推定方法



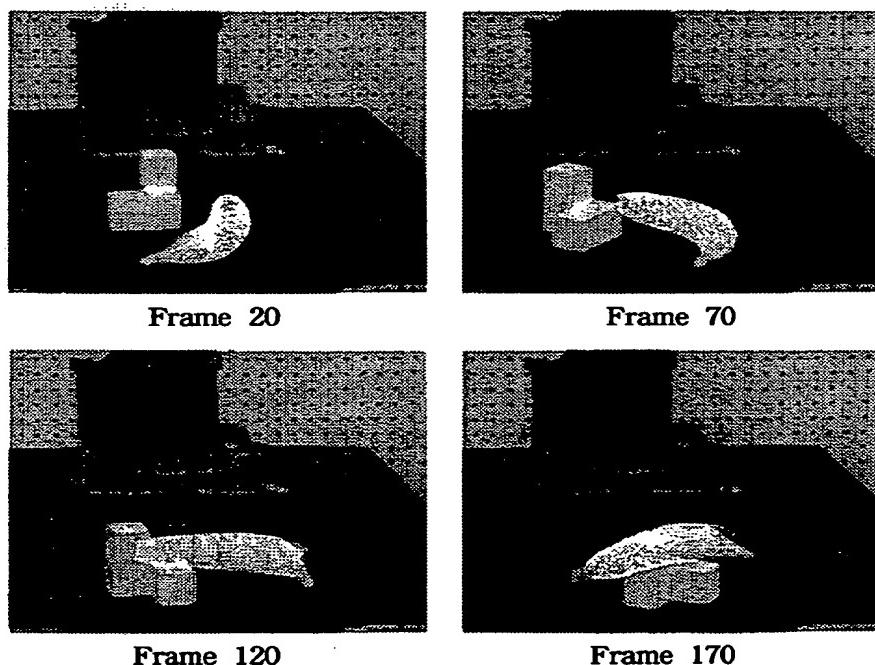
【図9】

ステレオ視における曲面の計測誤差



【図10】

自由曲面体の追跡結果の例



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ステレオカメラシステムをセンサとして用い、滑らかな曲面によって構成された自由曲面物体の3次元剛体運動を、物体モデルを利用して高速に追跡する手法を提供する。

【解決手段】 ステレオ画像を入力し（S1）、そのステレオ画像で観測される曲面物体の輪郭線（シルエット）に対応する追跡点を、該物体の現在位置に関する情報に基づき、3次元幾何モデルを用いて選択する（S2）。そして、各追跡点に対応する輪郭線上の対応点をステレオ画像から抽出し（S3）、その3次元座標を計測する（S4）。次に、各追跡点と各対応点の3次元座標の組から、該物体の位置姿勢と誤差を算出する（S5）。そして、誤差の判別を行い（S6）、誤差が十分小さくない場合は検出された位置姿勢を新たな現在位置とし、（S2）からの処理を繰り返す。誤差が十分小さい場合は検出された位置姿勢を新たな現在位置とし、（S1）からの処理を繰り返す。

【選択図】 図2

出願人履歴情報

識別番号 [000001144]

1. 変更年月日 1990年 9月20日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

氏 名 工業技術院長

出願人履歴情報

識別番号 [000002303]

1. 変更年月日 1990年 8月 8日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号

氏 名 スタンレー電気株式会社